

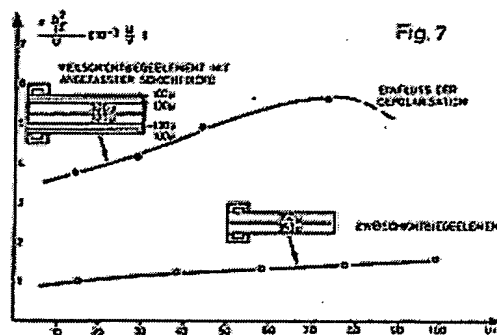
BN

Electromechanical transducer

Patent number: DE3142684
Publication date: 1983-05-05
Inventor: SCHNELL AXEL DR (DE)
Applicant: PHILIPS PATENTVERWALTUNG (DE)
Classification:
 - **International:** H01L41/08; H01L41/18; G01D5/14; B06B1/06;
 C04B35/49; H01H57/00
 - **European:** H01L41/09G; H01L41/187; G11B5/592
Application number: DE19813142684 19811028
Priority number(s): DE19813142684 19811028

Abstract of DE3142684

The sensitivity of electromechanical transducers made of piezoelectric or electrostrictive material with a polymorphous configuration can be fundamentally improved if the effects of the internal mechanical shear stresses between the individual layers of the transducer body are minimised not by keeping the layer thickness of the individual layers of the transducer body constant, but by adjusting it so that the mean expansion per layer is just equal to the natural expansion during bending as given by $dn = (2\sqrt{n} - 2\sqrt{n-1}) \cdot d_1$, where n denotes the serial number of the layers, that is to say the n th layer, and d_1 is the layer thickness of the thickest layer.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

①9 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift
①1 DE 3142684 A1

②1 Aktenzeichen:
②2 Anmeldetag:
④3 Offenlegungstag:

P 31 42 684.0
28. 10. 81
5. 5. 83

⑤1 Int. Cl. 3:
H 01 L 41/08
H 01 L 41/18
G 01 D 5/14
B 06 B 1/06
C 04 B 35/49
H 01 H 57/00

DE 3142684 A1

⑦1 Anmelder:
Philips Patentverwaltung GmbH, 2000 Hamburg, DE

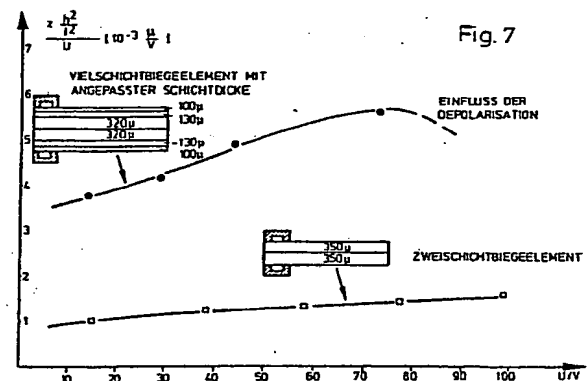
⑦2 Erfinder:
Schnell, Axel, Dr., 5100 Aachen, DE

Behörden-Eigentum

⑤4 »Elektromechanischer Wandler«

Die Empfindlichkeit von elektromechanischen Wandlern aus piezoelektrischem oder elektrostriktivem Material in Multimorph-Konfiguration kann entscheidend verbessert werden, wenn die Auswirkungen der inneren mechanischen Scherspannungen zwischen den einzelnen Schichten des Wandlerkörpers auf ein Mindestmaß reduziert werden, indem die Schichtdicke der einzelnen Schichten des Wandlerkörpers nicht konstant gehalten ist, sondern so angepaßt wird, daß die mittlere Dehnung pro Schicht gerade der natürlichen Dehnung bei Biegung entspricht, gemäß $d_n = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) \cdot d_1$, wobei n den Laufindex der Schichten, also die n -te Schicht bezeichnet und d_1 die Schichtdicke der dicksten Schicht bedeutet.

(31 42 684)



DE 3142684 A1

Patentansprüche:

1. Elektromechanischer Wandler mit $2n$, aus einem piezoelektrischen oder elektrostriktiven Material bestehenden, einen Stapel bildenden, streifenförmigen, an ihren Hauptflächen mit Elektroden bedeckten Schichten, von denen jeweils n eine Stapelhälfte bildende Schichten beiderseits der Mitte des Stapels liegen, und mit Einrichtungen zum Zuführen von Spannungen an die Elektroden zur Bildung von senkrecht zu den Hauptflächen der Schichten stehenden elektrischen Feldern,
dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Schichten jeder Stapelhälfte von der Mitte des Stapels her nach außen hin abnimmt und daß die Schichten beider Stapelhälften, die in gleichem Abstand zur Mitte des Stapels liegen, gleiche Dicke aufweisen.
2. Elektromechanischer Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke der Schicht d_n , ausgehend von der Anzahl n der Schichten in jeweils einer Stapelhälfte, gegeben ist durch:
$$d_n = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) \cdot d_1$$
, wobei d_1 die Schichtdicke der dicksten Schicht ist.
3. Elektromechanischer Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der aus den streifenförmigen Schichten gebildete Stapel an seinem einen Ende in einer Halterung fixiert ist und daß die freie Länge des Stapels senkrecht zu seinen Hauptflächen auslenkbar ist.
4. Elektromechanischer Wandler nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis von freier Länge zur Gesamtdicke des Stapels $5 : 1$ bis $100 : 1$ beträgt.

5. Elektromechanischer Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß die streifenförmigen Schichten aus einem Material bestehen, dessen Wert für die
 5 piezoelektrische Ladungskonstante d_{31} mindestens $150 \cdot 10^{-12}$ m/V beträgt.

6. Elektromechanischer Wandler nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, daß die streifenförmigen Schichten aus einer ferroelektrischen Mischkristallkeramik
 10 bestehen auf der Basis von:



15 worin bedeuten:

M = mindestens ein Erdalkalimetall wie Ca, Sr, Ba

$$0 \leq a \leq 0,15$$

$$0 \leq b \leq 0,20$$

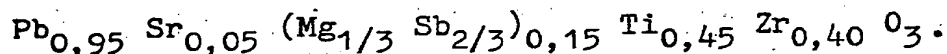
20 $0,01 \leq x \leq 0,25$

$$0,40 \leq y \leq 0,55$$

$$0,20 \leq z \leq 0,59$$

$$x + y + z = 1.$$

25 7. Elektromechanischer Wandler nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß die Mischkristallkeramik folgende Zusammensetzung aufweist:



30

35

Elektromechanischer Wandler

Die Erfindung bezieht sich auf einen elektromechanischen Wandler mit $2n$, aus einem piezoelektrischen oder elektrostriktiven Material bestehenden, einen Stapel bildenden, streifenförmigen, an ihren Hauptflächen mit Elektroden bedeckten Schichten, von denen jeweils n eine Stapelhälfte bildende Schichten beiderseits der Mitte des Stapels liegen, und mit Einrichtungen zum Zuführen von Spannungen an die Elektroden zur Bildung von senkrecht zu den Hauptflächen der Schichten stehenden elektrischen Feldern.

Wandler dieser Art können angewendet werden, z.B. bei der Erzeugung, Messung und Ermittlung von Schall, Stoß, Vibration, Druck usw. Es werden dabei elektrische Impulse in eine mechanische Auslenkung umgesetzt oder umgekehrt.

Es sind elektromechanische Wandler aus piezoelektrischem oder elektrostriktivem Material bekannt (z.B. DE-OS 29 18 625 oder US-PS 24 84 950), die aus zwei aufeinandergeklebten Keramikstreifen bestehen. Solche Wandler in Bimorph-Konfiguration werden üblicherweise an einem Ende eingespannt und werden durch Anlegen geeigneter Spannungen an ihrem freien Ende ausgelenkt und können so beispielsweise als Stellglied zum Nachsteuern von Videoköpfen bei magnetischer Videoaufzeichnung dienen.

Die Auslenkung z solcher Wandler ist gegeben durch

$$z = A \cdot d_{31} \cdot \frac{l^2}{h^2} \cdot U; \text{ in der Formel bedeuten:}$$

A = Faktor von ca. 3; d_{31} = piezoelektrische Ladungskonstante; l = freie Länge des Wandlerkörpers;
 h = Gesamtdicke des Wandlerkörpers und U = die am Wandler

anliegende Spannung. Ein derartiger Wandler gemäß dem Stand der Technik ist in Fig. 1 dargestellt.

Ein Problem solcher Wandler ist, daß zum Erzielen geeigneter Auslenkungen im allgemeinen Spannungen im Bereich von 100 V benötigt werden. Eine Verringerung der Schichtdicke d der am Aufbau des Wandlerkörpers beteiligten einzelnen Schichten bzw. der Gesamtdicke h des Wandlerkörpers vergrößert zwar die Empfindlichkeit des Wandlers, d.h. mit kleineren Spannungen sind gleich große oder größere Auslenkungen erreichbar, da aber die an der freien Spitze des Wandlerkörpers wirksame Kraft F

durch $F = B \cdot S_{11}^{-1} \frac{h^3}{l^3} \cdot z$ gegeben ist, worin bedeuten: B = Proportionalitätsfaktor, in dem u.a. die Breite des Wandlerkörpers enthalten ist; S_{11} = eine der Elastizitätskonstanten des verwendeten Materials; h = Gesamtdicke des Wandlerkörpers; l = freie Länge des Wandlerkörpers und z = Empfindlichkeit des Wandlerkörpers, nimmt die ausnutzbare Kraft schneller ab als die Empfindlichkeit des Wandlers (z/U) verbessert wird.

Eine Lösung dieses Problems wäre, daß die elektrisch wirksame Dicke d des Wandlerkörpers reduziert wird, ohne die mechanisch wirksame Dicke h des Wandlerkörpers zu verändern. Dazu müßten statt zwei Keramikstreifen 2n Keramikstreifen übereinandergelegt und in geeigneter Weise kontaktiert werden. Ein Wandlerkörper in einer derartigen Multimorph-Konfiguration ist in Fig. 2 dargestellt. Ein solcher Multimorph-Wandler hätte den Vorteil, daß im Vergleich zu einem Wandler in Bimorph-Konfiguration gleicher Gesamtdicke wesentlich geringere elektrische Spannungen nötig sind, um die gleiche Auslenkung zu erzielen, die wirksamen mechanischen Stell-

- kräfte jedoch gleich sind. Es darf jedoch nicht erwartet werden, daß die Empfindlichkeit z/U des Wandlers bei einer Anordnung mit $2n$ Schichten um einen Faktor n zunimmt. Dies liegt an der internen mechanischen Spannungsverteilung bei der Biegung eines solchen Wandlers; das Dehnungs-Schrumpfungs-Verhalten eines Bimorph-Wandlers ist in Fig. 3 dargestellt. Die Fig. 3 zeigt schematisch einen gebogenen Wandlerkörper in Bimorph-Konfiguration mit eingezeichneter neutraler Faser; die sich bei der Krümmung ergebende mechanische Dehnung in Abhängigkeit vom Abstand von der neutralen Faser ist mit den Pfeilen a eingezeichnet. An der Oberseite ist maximale Dehnung feststellbar, während an der Unterseite maximale Schrumpfung stattfindet. Ein Wandler in Multimorph-Konfiguration mit konstanter Dicke der einzelnen Schichten gibt bei elektrischer Ansteuerung mit gleicher Spannung pro Schicht gemäß Fig. 4 eine konstante Dehnung (vgl. Pfeile a) vor, die nicht dem natürlichen Dehnungsverlauf bei Biegung entspricht. Daher müssen starke innere Scherspannungen auftreten, die zu Delamination der einzelnen Schichten führen können. Durch diese gegenseitige Hemmung der einzelnen Schichten ist die Empfindlichkeitszunahme kleiner als durch den Faktor n gegeben.
- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektromechanischen Wandler in Multimorph-Konfiguration zu schaffen, bei dem die unerwünschten Auswirkungen der inneren mechanischen Scherspannungen zwischen den einzelnen Schichten des Wandlerkörpers auf ein Mindestmaß reduziert sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Dicke der Schichten jeder Stapelhälfte von der Mitte des Stapels her nach außen hin abnimmt und daß die Schichten beider Stapelhälften, die in gleichem Abstand zur Mitte des Stapels liegen, gleiche Dicke aufweisen.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die Auswirkung der inneren Scherspannungen zwischen den einzelnen, den Wandlerkörper eines Wandlers in Multimorph-Konfiguration bildenden Schichten dadurch minimiert werden
5 können, daß die Schichtdicke der einzelnen Schichten des Wandlerkörpers nicht konstant gehalten wird, sondern so angepaßt wird, daß die mittlere Dehnung pro Schicht gerade der natürlichen Dehnung bei Biegung entspricht. Hierzu wird auf Fig. 5 hingewiesen, in der mit den Pfeilen a
10 dargestellt ist, wie die mittlere Dehnung pro Schicht gerade der natürlichen Dehnung bei Biegung entspricht.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die Schichtdicke der n-ten Schicht d_n , ausgehend von der
15 neutralen Faser, die sich immer automatisch einstellt und geometrisch in der Mitte zwischen dem Bereich der maximalen Dehnung und der maximalen Schrumpfung liegt, gegeben durch:

20
$$d_n = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) \cdot d_1$$
, wobei n den Laufindex der

Schichten, also die n-te Schicht, bezeichnet, und d_1 die Schichtdicke der dicksten Schicht bedeutet.

25 Bei Wahl der Schichtdicken gemäß dieser Beziehung ergibt sich vorteilhaft, daß die Empfindlichkeit z/U gegenüber einem Biegeelement mit gleicher Gesamtdicke n und gleicher Länge l, jedoch gleichmäßiger Schichtdicke um den Faktor n erhöht wird; dabei ist das Auftreten von Scherspannungen
30 zwischen den einzelnen Schichten minimiert.

Nach weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist der aus den streifenförmigen Schichten gebildete Stapel an seinem einen Ende in einer Halterung fixiert,
35 wobei die freie Länge des Stapels senkrecht zu seinen

Hauptflächen auslenkbar ist; das Verhältnis von freier Länge zu Gesamtdicke des Stapels beträgt vorteilhafterweise 5 : 1 bis 100 : 1.

- 5 Nach weiteren Ausgestaltungen der Erfindung bestehen die streifenförmigen Schichten aus einem Material, dessen Wert für die piezoelektrische Ladungskonstante d_{31} mindestens $150 \cdot 10^{-12}$ m/V beträgt; insbesondere bestehen die streifenförmigen Schichten aus einer ferroelektrischen
- 10 Mischkristallkeramik auf der Basis von



worin bedeuten:

15

M = mindestens ein Erdalkalimetall wie Ca, Sr, Ba

$$0 \leq a \leq 0,15$$

$$0 \leq b \leq 0,20$$

$$0,01 \leq x \leq 0,25$$

20 $0,40 \leq y \leq 0,55$

$$0,20 \leq z \leq 0,59$$

$$x + y + z = 1$$

- 25 Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß durch Anpassung der Schichtdicken der einzelnen Schichten eines elektromechanischen Wandlers in Multimorph-Konfiguration an den internen mechanischen Spannungsverlauf verbesserte Emp-
- 30 findlichkeitswerte erzielbar sind.

Anhand der Zeichnung wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben und in ihrer Wirkungsweise dargestellt. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 elektromechanischer Wandler in Bimorph-Konfiguration nach dem Stand der Technik,
Fig. 2 elektromechanischer Wandler in Multimorph-Konfiguration nach dem Stand der Technik,
Fig. 3 elektromechanischer Wandler in Bimorph-Konfiguration nach dem Stand der Technik in gebogenem Zustand,
10 Fig. 4 Dehnungsverhalten eines Wandlers in Multimorph-Konfiguration gemäß dem Stand der Technik bei Ansteuerung mit gleicher Spannung pro Schicht,
15 Fig. 5 Darstellung der mittleren Dehnung pro Schicht im Verhältnis zur natürlichen Dehnung bei Biegung bei einem Wandlerkörper in Multimorph-Konfiguration gemäß der Erfindung,
Fig. 6 einen elektromechanischen Wandler in Multimorph-Konfiguration gemäß der Erfindung,
20 Fig. 7 Empfindlichkeit eines Wandlers in Multimorph-Konfiguration gemäß der Erfindung im Vergleich zu der eines Wandlers in Bimorph-Konfiguration gemäß dem Stand der Technik, aufgetragen über der angelegten elektrischen Spannung U/V .
25

In Fig. 6 ist ein Ausführungsbeispiel eines Wandlers mit einem aus streifenförmigen Schichten 1, 1', 2, 2', 3 und 3' aufgebauten Wandlerkörper 5 mit einer Verdrahtung der einzelnen Schichten dargestellt. Die Pfeile 7 in den
30 Schichten 1, 1' bis 3, 3' heben die Polarisationsrichtungen an. Die beiden Stapelhälften des Wandlerkörpers gemäß den Schichten 1, 2, 3 und 1', 2', 3' liegen in Parallelschaltung an einer nicht dargestellten Spannungsquelle.

* 9

Dieser Schaltung entsprechend verläuft die elektrische Feldstärke in den Schichten 1', 2', 3' z.B. in Richtung der Polarisierung der einzelnen Schichten und in den Schichten 1, 2, 3 entgegengesetzt der Richtung der Polarisierung in den einzelnen Schichten. Der Pfeil 11 gibt die Richtung der Feldstärke an; dementsprechend ergibt sich für die einzelnen Schichten 1, 1' bis 3, 3' eine Richtung der Feldstärke gemäß den Pfeilen 8.

Mit 9 ist eine Halterung zum einseitigen Fixieren des aus den Schichten 1, 1' bis 3, 3' gebildeten Wandlerkörpers 5 dargestellt. Die freie Länge des Wandlerkörpers beträgt 12 mm, die Schichtdicken der einzelnen Schichten sind in der Figur angegeben, sie betragen 320 μm (Schichten 1, 1'), 130 μm (Schichten 2, 2') und 100 μm (Schichten 3, 3').

Wenn die zur Berechnung der einzelnen Schichtdicken oben angegebene Formel $d_n = (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) \cdot d_1$ angewendet wird, ergeben sich als exakte Werte für die Schichten geringe Abweichungen; wenn die Schichten größter Dicke 1, 1' mit 320 μm angenommen werden, ergäben sich als exakte Werte für die Schichten 2, 2' = 131,2 μm und für die Schichten 3, 3' = 102,4 μm . In dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wurden diese Werte aus fertigungstechnischen Gründen auf 130 μm respektive 100 μm abgerundet.

In Fig. 6 sind die einzelnen Schichten 1, 1' bis 3, 3' mit unterschiedlicher Länge dargestellt. Dies ist erforderlich, um freien Platz für die Elektrodenanschlüsse zu erhalten; das freie, nicht in der Halterung 9 fixierte Ende des Wandlerkörpers 5 hat zweckmäßigerweise bündige Schichten 1, 1' bis 3, 3'.

In Abhängigkeit von der angelegten Spannung wurde die Empfindlichkeit am Ende des Elementes gemessen und gemäß der

Formel $z = A \cdot d_{31} \cdot \frac{l^2}{h^2} \cdot U$ mit h^2/l^2 multipliziert,

5

um eine von der Geometrie unabhängige Vergleichsgröße zu erhalten. Die gleichen Messungen wurden mit einem Bimorph-Wandler nach dem Stand der Technik gemacht und es wurde ebenfalls die Empfindlichkeit $z \cdot h^2/l^2$ über

10

der angelegten Spannung bestimmt. Die geometrieunabhängige Empfindlichkeit z des Wandlers ist über der angelegten Spannung in Fig. 7 dargestellt. In der Formel bedeuten z = Empfindlichkeit des Wandlerkörpers;

h = Gesamtdicke des Wandlerkörpers; l = freie Länge des

15

Wandlerkörpers und U = angelegte Spannung.

Es ergibt sich, daß die Vielschichtanordnung mit angepaßter Dicke der streifenförmigen Schichten des Wandlerkörpers tatsächlich Auslenkungswerte zeigt, die nahe der

20

theoretisch zu erwartenden Kurve liegen, die bei 2×3 Schichten um einen Faktor 3 größer sein soll als für einen Wandler in Bimorph-Konfiguration. Daß die gemessenen Werte sogar höher liegen als erwartet, kann an dem stärkeren nichtlinearen Verhalten des Multimorph-Wandlers

25

liegen, da die Feldstärkenwerte innerhalb der äußeren Schichten bei gleicher Spannung deutlich größer waren als bei dem Bimorph-Wandler.

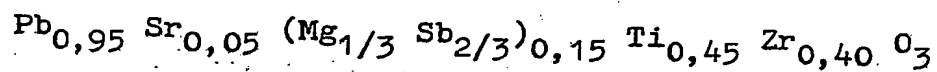
Der Wandlerkörper 5 mit den Schichten 1, 1' bis 3, 3' soll aus einem ferroelektrischen keramischen Material

30

bestehen, dessen Wert für die piezoelektrische Ladungskonstante d_{31} mindestens $150 \cdot 10^{-12}$ m/V beträgt. Derartige keramische Materialien sind käuflich erhältlich und z.B. in der EP-OS 00 19 337 ausführlich beschrieben.

35

Für das hier beschriebene Ausführungsbeispiel wurde eine keramische Masse der Formel



verwendet, wobei der Wandlerkörper mit den Schichten 1, 1' bis 3, 3' auf folgende Weise hergestellt wurde:

Das keramische Ausgangsmaterial wurde trocken ohne Zusatz von Bindemitteln verpreßt und bei einer Temperatur von 850°C in Sauerstoff 2 h vorgesintert. Anschließend wurde ein Scharfbrand bei einer Temperatur von ca. 1200°C mit einer Dauer in der Größenordnung von ca. 45 min ausgeführt. Aus den Sinterkörpern wurden anschließend mittels mechanischer Bearbeitung (z.B. Sägen, Polieren) Körper mit den Abmessungen von 22 mm Länge x 7 mm Breite x 320 bis 100 µm Dicke hergestellt. Auf den Hauptflächen der so vorbereiteten Körper wurden Elektroden, hier beispielsweise aus Gold, durch Aufdampfen angebracht. Die Elektroden, die vorzugsweise einen ohmschen Kontakt bilden müssen, können jedoch aus beliebigen, für Elektroden geeigneten Metallen oder Legierungen, wie Silber, Nickel oder Nickel-Chrom-Legierungen, bestehen. Die Elektroden-schichten können z.B. auch durch Aufspritzen oder Siebdrucken einer Paste mit anschließender Wärmebehandlung oder durch stromolose Abscheidung aus einem Metallbad auf gleiche Weise erhalten werden.

Um einen Wandlerkörper mit den Schichten 1, 1' bis 3, 3' zu erhalten, wurden jeweils 6 der oben beschriebenen Sinterkörper, nämlich jeweils Sinterkörper der Abmessungen 22 mm x 7 mm x 320 µm, 22 mm x 7 mm x 130 µm und 22 mm x 7 mm x 100 µm mittels einer Kunstharzkleberschicht derart fest miteinander verbunden, daß die Sinterkörper größter Dicke benachbart in der Mitte des Stapels, die Sinterkörper kleinster Dicke jeweils an den

3142684

3142684

10 12

PHD 81-118

Außenseiten des Stapels liegen. Die kraftschlüssige Verbindung der die Schichten 1, 1' bis 3, 3' des Wandlerkörpers 5 bildenden Sinterkörper kann im Rahmen des fachmännischen Handels jedoch auf beliebige andere Weise erfolgen. Die Elektrodenschichten wurden durch mittels Thermokompression befestigte Golddrähte elektrisch miteinander verbunden.

Die Polarisierung der Schichten 1, 1' bis 3, 3' erfolgte jeweils vor dem Zusammenkleben der Schichten entsprechend der gewünschten Polarisationsrichtung mit einer Feldstärke von 2,5 MV/m 10 min bei einer Temperatur von 120°C.

Die Gesamtdicke des Wandlerkörpers 5 betrug bei diesem Ausführungsbeispiel 1,2 mm, davon sind ca. 100 µm Klebefugen. Die freie Länge des Wandlerkörpers betrug 12 mm, die Breite 7 mm.

Für die Herstellung des keramischen Wandlerkörpers gemäß der Erfindung sind außer der genannten ferroelektrischen keramischen Masse alle ferroelektrischen keramischen Massen mit einer piezoelektrischen Ladungskonstanten d_{31} von $> 150 \cdot 10^{-12}$ m/V ebenso geeignet.

Nummer:
Int. Cl.³:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

3142684
H01L 41/08
28. Oktober 1981
5. Mai 1983

-19-

3142684

1/7

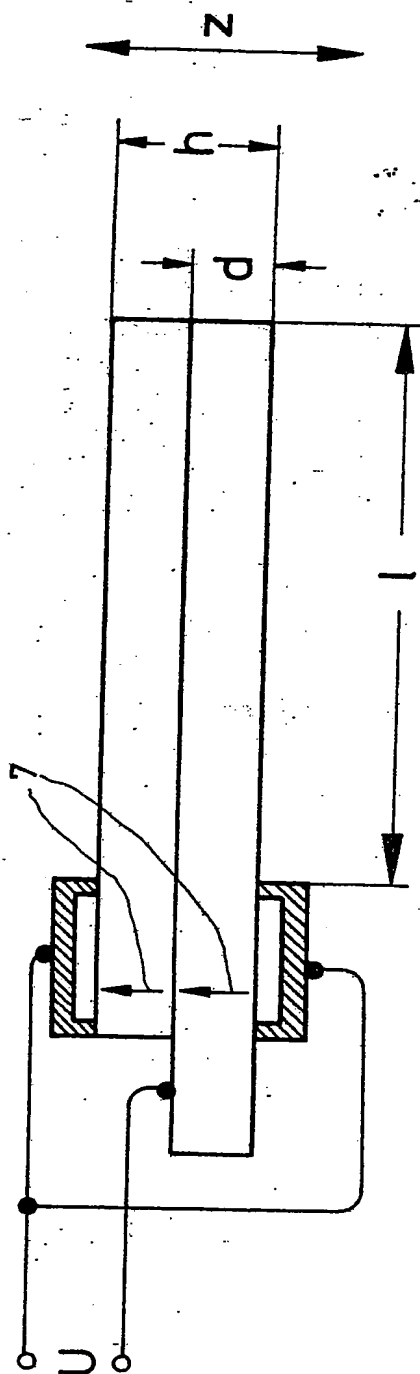


Fig. 1

D 81-118

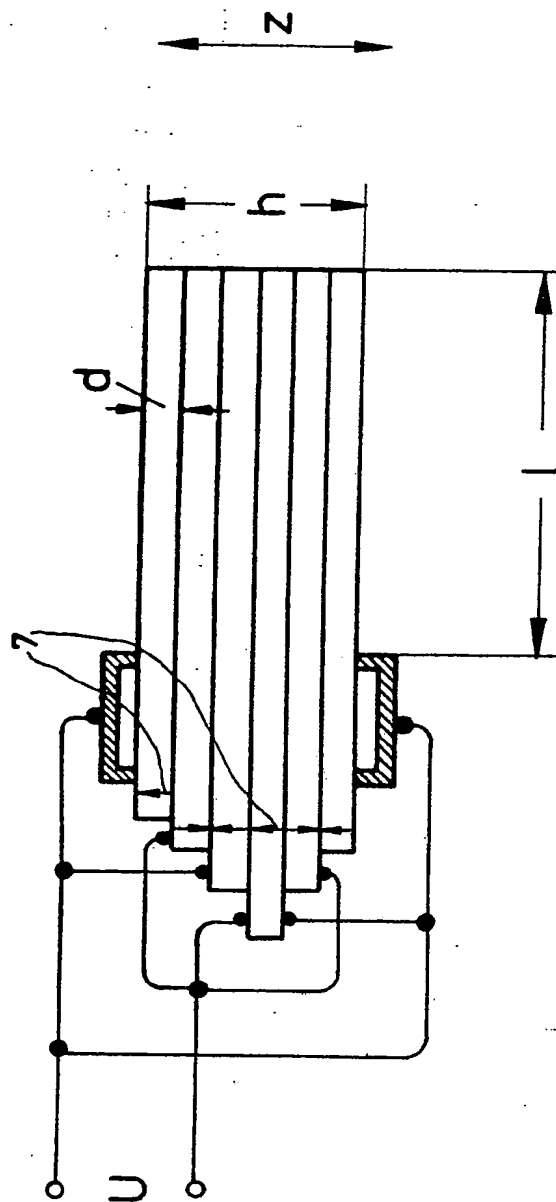


Fig. 2

20-10-81

3142684

-14-

3/7

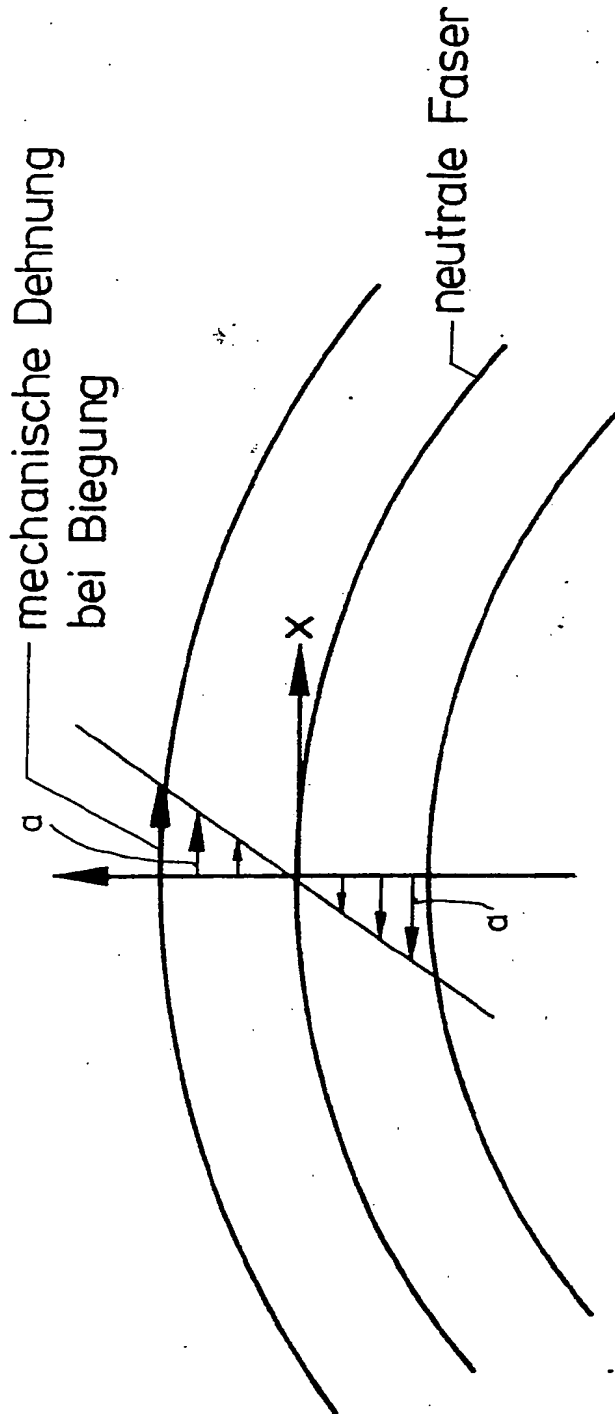


Fig. 3

D 81-118

10-81

3142684

15

417

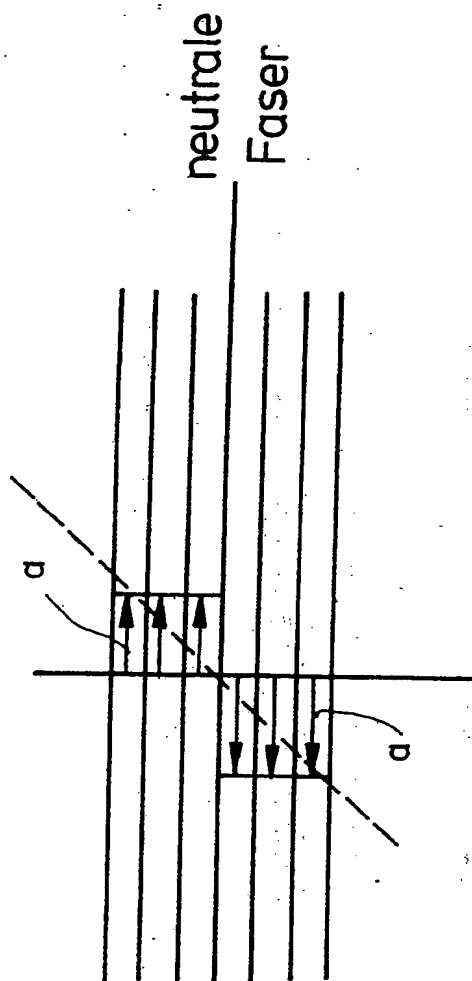


Fig. 4

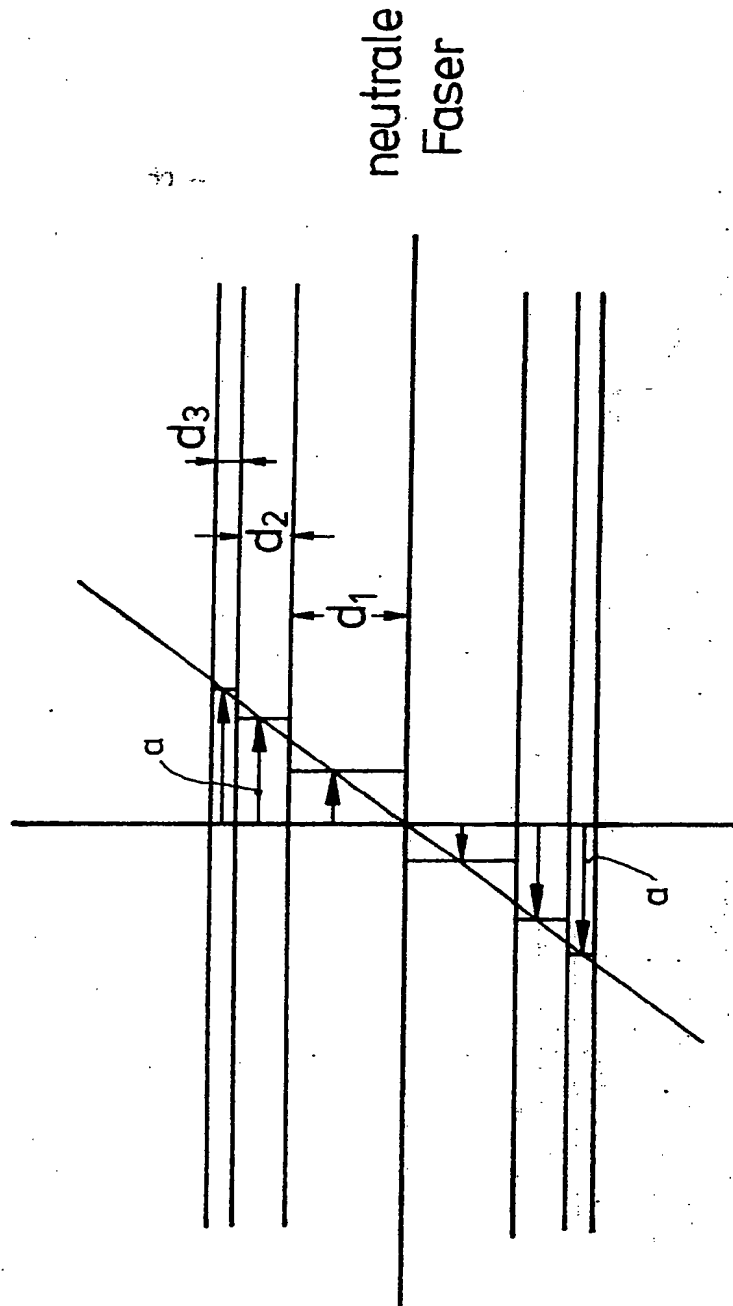
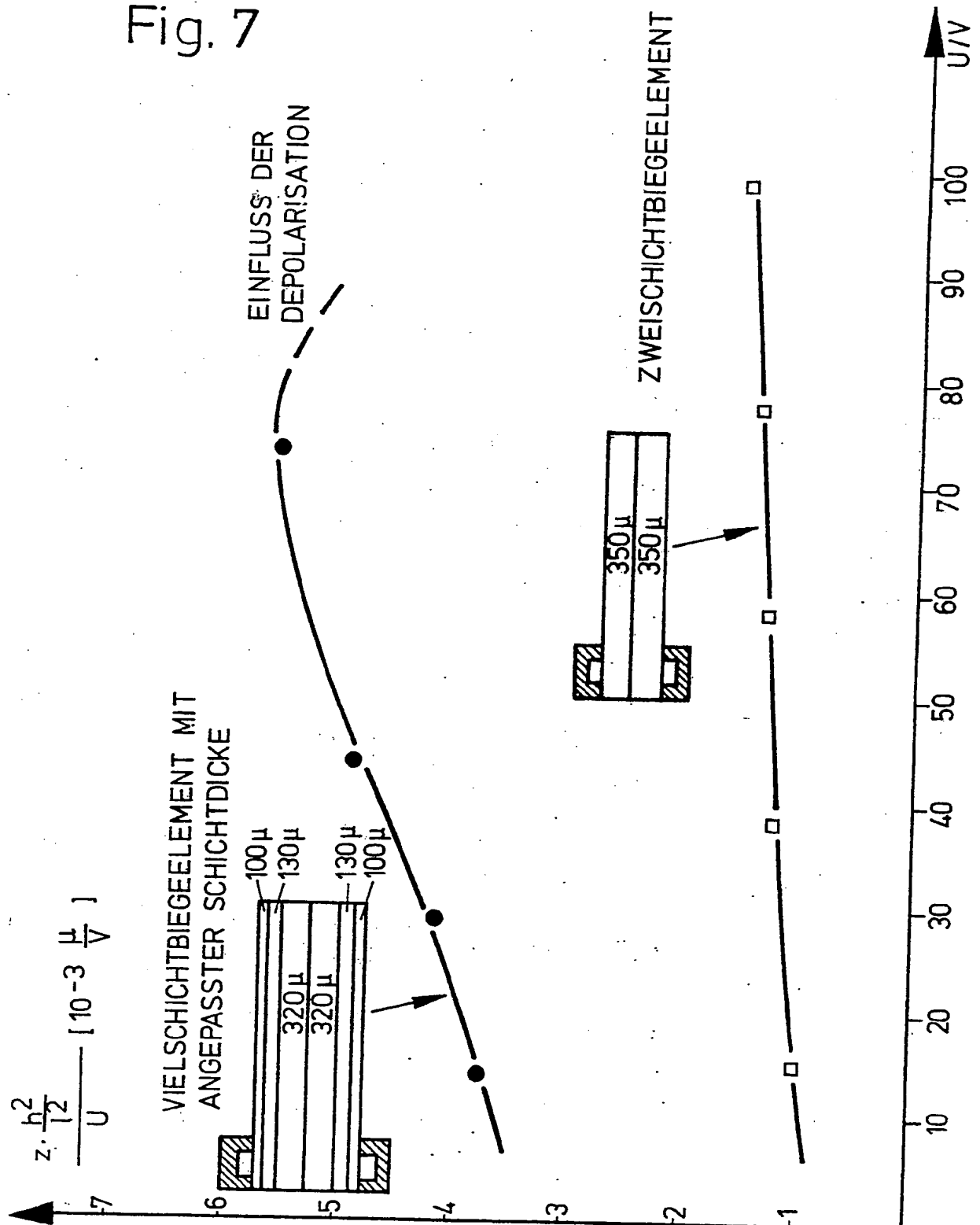


Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.